МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE



УДК 535.854 10.23947/1992-5980-2017-17-4-34-43

Обработка результатов измерений интенсивности оптических полей интерференционных картин, создаваемых лазерными интерференционными средствами измерений*

И. П. Мирошниченко[1**]
[1]Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Data processing of measuring intensity of optical field fringe patterns generated by laser interference measuring means***

I. P. Miroshnichenko[1**]
[1]Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Введение. Современные методы и средства лазерной интерферометрии открывают новые возможности при исследовании свойств и процессов дефектообразования в новых материалах (слоистых, полимерных, композиционных), диагностики состояния конструкционных материалов силовых элементов изделий на всех этапах их жизненного цикла. Одним из направлений повышения качества результатов измерений может быть внедрение нового программного обеспечения (ПО) для анализа результатов измерений интенсивностей оптических полей интерференционных картин, однозначно связанных с измеряемыми малыми перемещениями поверхностей объектов контроля. Целью работы являлось создание нового ПО. В данном случае оно предназначено для обработки результатов измерений интенсивностей оптических полей интерференционных картин, создаваемых оптическими средствами измерений малых линейных и угловых перемещений поверхностей объектов. Решение основано на лазерном двухходовом интерферометре с совмещенными ветвями, что позволяет повысить качество результатов измерений.
Материалы и методы. Для достижения поставленной цели применено современное ПО, использованы результаты, полученные новыми средствами измерений на основе новых оптических интерференционных методов.
Результаты исследования. Создано ПО для обработки результатов измерений интенсивностей оптических полей интерференционных картин, создаваемых оптическими средствами измерений малых линейных и угловых перемещений поверхностей объектов. Новый программный продукт, позволяющий повысить качество результатов измерений, защищен свидетельствами Российской Федерации о государственной регистрации программ для ЭВМ.
Обсуждение и заключение. Предлагаемое ПО может быть успешно использовано для моделирования процессов измерений малых линейных и угловых перемещений поверхностей объектов контроля при создании новых методов обработки интенсивностей оптических полей интерференционных картин, создаваемых оптическими средствами измерений, построенными на основе лазерных интерферометров различных типов. Описанные в статье ПО и технические решения про-

Introduction. Currently, the introduction of modern methods and means of laser interferometry opens up new possibilities in solving various practical problems under studying properties and processes of defect formation in new materials (laminated, polymeric, composite), and diagnosing the state of structural materials of the product power components at all stages of their life cycle. One of the ways to improve the measurement results quality can be the introduction of new software for the outcome analysis of the intensities of the optical fields of interference patterns uniquely associated with the metered small displacements of control objects surfaces. The work objective is to develop new software for processing data of measuring intensities of the optical fields of interference patterns generated by the optical instrumentation of small linear and angular displacements of the control objects surfaces. The solution is based on the two-way laser interferometer with combined branches that allows increasing the measurement results quality.
Materials and Methods. To achieve this purpose, modern software is applied, and the data obtained with new measuring instruments based on new optical interference methods is used.
Research Results. New software is developed for processing the measurement results of the intensities of the optical fields of interference patterns generated by the optical instrumentation of small linear and angular displacements of the control objects surfaces based on the proposed two-pass laser interferometer with combined branches. New software allows improving the measurement data quality. It is protected by certificates of the Russian Federation on the state registration of computer programs.
Discussion and Conclusions. The proposed software can be used successfully for simulating measurements of small linear and angular displacements of the control objects surfaces in order to create new methods of treatment of the intensities of the optical fields of interference patterns generated by the optical instrumentation based on laser interferometers of various types. The described software and technical solutions received approval at the

*Работа выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки РФ № 9.9770.2017 и при частичной поддержке гранта РФФИ № 16–08–00740.
**E-mail: ipmir@rambler.ru
*** The research is done within the frame of government task no. 9.9770.2017 and is supported in part by RFFI grant no. 16–08–00740.

шли апробацию на международных научно-технических конференциях в 2016–2017 гг., были представлены на Международных инновационных салонах «Inventions Geneva 2017» и «Euroinvent 2017».

International scientific conferences in 2016–2017, and they were also presented at the International innovation salons "Inventions Geneva 2017" and "Euroinvent 2017".

Ключевые слова: лазерный интерферометр, измерения малых перемещений, объект контроля, диагностика состояния.

Keywords: laser interferometer, measurements of small displacements, control object, diagnostics of condition.

Образец для цитирования: Мирошниченко, И. П. Обработка результатов измерений интенсивности оптических полей интерференционных картин, создаваемых лазерными интерференционными средствами измерений / И. П. Мирошниченко // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2017. — Т. 17, № 4. — С. 34–43.

For citation: I.P. Miroshnichenko. Data processing of measuring intensity of optical field fringe patterns generated by laser interference measuring means. Vestnik of DSTU, 2017, vol. 17, no.4, pp.34–43.

Введение. Внедрение современных методов и средств лазерной интерферометрии открывает новые возможности при решении актуальных практических задач исследования свойств и процессов дефектообразования в новых материалах (в том числе слоистых, полимерных, композиционных) и диагностики состояния конструкционных материалов силовых элементов изделий на всех этапах их жизненного цикла.

Одним из наиболее предпочтительных для решения научных и производственных задач является лазерный двухходовой интерферометр с совмещенными ветвями, предложенный в [1–2]. Данный прибор был модифицирован для бесконтактного измерения малых перемещений поверхностей объектов при диагностике состояния материалов акустическими неразрушающими методами контроля. Экспериментальные исследования функциональных характеристик модифицированного интерферометра подробно описаны в [3–5].

Разработаны новые математические модели и оригинальное программное обеспечение (ПО) для моделирования интенсивностей оптических полей интерференционных картин, создаваемых указанным интерферометром, модифицированным для решения измерительных задач. Это ПО защищено свидетельствами Российской Федерации о государственной регистрации программ для ЭВМ. Проведено численное моделирование для различных вариантов оптических схем с учетом особенностей их составных частей (геометрических характеристик, вида светоделителя и т. п.). Результаты проведенных изысканий подробно описаны в работах [6–7].

С учетом результатов численного и экспериментального моделирования созданы новые оптические средства для бесконтактных измерений малых линейных и угловых перемещений поверхностей объектов контроля. Кроме того, по итогам проведенных исследований были предложены новые решения для регистрации интенсивности оптических полей интерференционных картин, однозначно связанных с измеряемыми перемещениями, способы и средства защиты от влияния внешних и внутренних дестабилизирующих воздействий на результаты измерений. Изобретения, реализованные в предложенных средствах измерений, защищены патентами Российской Федерации. Функциональные характеристики опытных образцов данных средств измерений были численно и экспериментально исследованы и обоснованы. Результаты изложены в работах [8–10].

В работах [11–12] представлены новые способ и оптическое устройство для измерения малых пространственных (линейных и всех угловых) перемещений поверхностей объектов контроля.

В работах [9–10] также описаны технические решения, защищенные патентами Российской Федерации на изобретения, позволяющие использовать разработанные оптические средства измерений в составе мобильных диагностических комплексов и проводить измерения контролируемых малых перемещений по месту эксплуатации диагностируемых объектов без потери функциональных свойств и точностных характеристик.

Указанные средства измерений были успешно применены при экспериментальных исследованиях процессов дефектообразования в тонких образцах ленточных высокотемпературных сверхпроводников, а также при разработке методов контроля их качества в процессе производства. Экспериментально-измерительные устройства описаны в работах [13–14].

Опытная эксплуатация перечисленных выше оптических средств показала, что одним из направлений повышения качества измерений может быть создание и внедрение нового ПО для обработки результатов измерений интенсивностей оптических полей интерференционных картин, однозначно связанных с измеряемыми малыми перемещениями поверхностей объектов контроля.

Цель исследования — создание нового ПО для обработки результатов измерений интенсивностей оптических полей интерференционных картин, создаваемых оптическими средствами измерений малых линейных и угловых перемещений поверхностей объектов контроля. Новое решение базируется на лазерном двухходовом интерферометре с совмещенными ветвями.

Программное обеспечение для обработки результатов измерений интенсивностей оптических полей интерференционных картин и примеры его использования. При создании комплекса использовано программное обеспечение *MathCad* 2000 *Professional* и выше.

Программы, объединенные в данном комплексе, основаны на типовом алгоритме, моделируют определенный вариант сбора информации об интенсивности оптического поля интерференционной картины и обрабатывают полученные сведения с помощью различных статистических методов. Данные могут считываться одиночным фотоприемным устройством, группой фотоприемных устройств, матрицей фотоприемных устройств с заданными геометрическими характеристиками и т. д. с заданных областей интерференционной картины:

— в одном из колец интерференционной картины;
— в нескольких кольцах интерференционной картины;
— в выделенной области интерференционной картины и т. п.

В каждой программе комплекса ПО реализован типовой алгоритм моделирования процесса измерений малых перемещений поверхностей объектов контроля оптическими интерференционными средствами измерений, сущность которого может быть наглядно показана на наиболее простом примере измерения малого линейного перемещения поверхности объекта контроля одиночным фотоприемным устройством (например, фотодиодом типа ФД9), установленным в одном из колец интерференционной картины.

Исходными данными для обработки являются геометрические характеристики фотоприемного устройства, а также представленные в стандартных графических форматах изображения интерференционных картин ($n = 1,2…N$), каждая n-я из которых соответствует определенному моменту измерения (малому линейному перемещению) в процессе регистрации изображения интерференционной картины, при котором воспроизводилось заданное значение малого линейного перемещения поверхности объекта контроля.

Укрупненно данный алгоритм, реализованный в ПО, может быть представлен следующим образом.

1. Визуализация и анализ интенсивности оптического поля исходной интерференционной картины ($n = 1$), характеризующей исходное положение поверхности объекта контроля, внешний вид которой представлен на рис. 1.

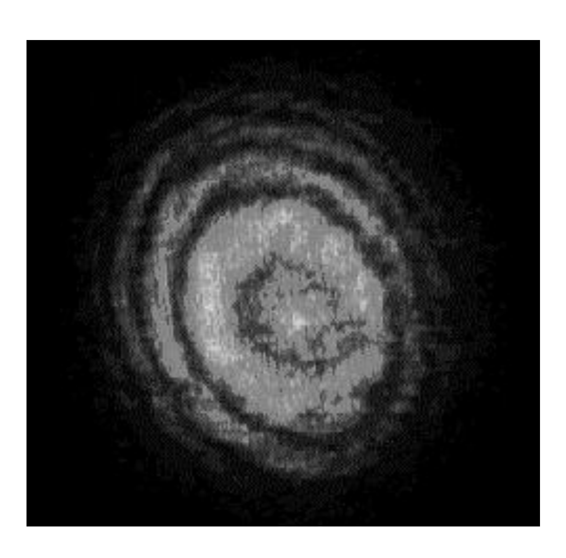


Рис. 1. Внешний вид исходной интерференционной картины ($n = 1$)

Fig. 1. Appearance of original interference pattern (n = 1)

2. Визуализация и анализ интенсивностей оптических полей всех интерференционных картин, входящих в набор изображений ($n = 1, 2…N$, для примера $N = 31$), соответствующих определенным моментам измерений (линейным перемещениям) в процессе регистрации. Внешний вид интерференционных картин $n = 1, 2…9$ представлен на рис. 2.

n = 1 n = 2 n = 3

n = 4 n = 5 n = 6

n = 7 n = 8 n = 9

Рис. 2. Внешний вид интерференционных картин (n = 1, 2…9)

Fig. 2. Appearance of interference patterns (n = 1, 2...9)

3. Выбор области на исходной интерференционной картине (n = 1), ограниченной заданными геометрическими характеристиками фотоприемного устройства, путем нанесения горизонтальных и вертикальных линий (разметки) и ее визуализация (рис. 3).

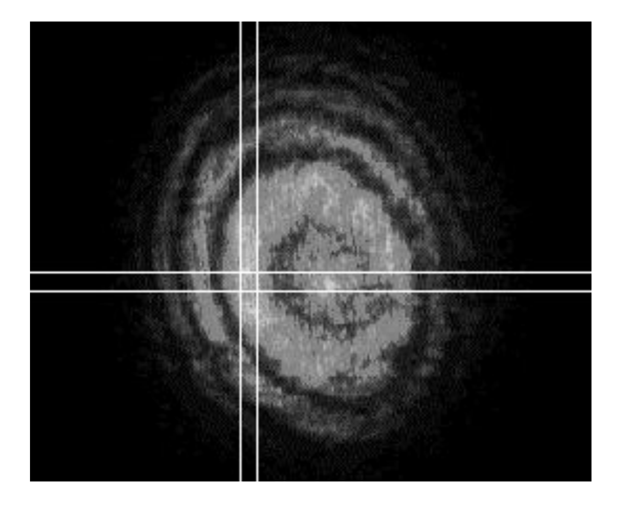


Рис. 3. Внешний вид разметки на исходной интерференционной картине (n = 1)

Fig. 3. Appearance of markings on original interference pattern (n = 1).

4. Визуализация выбранной области исходной интерференционной картины (n = 1), ограниченной заданными геометрическими характеристиками фотоприемного устройства (рис. 4).

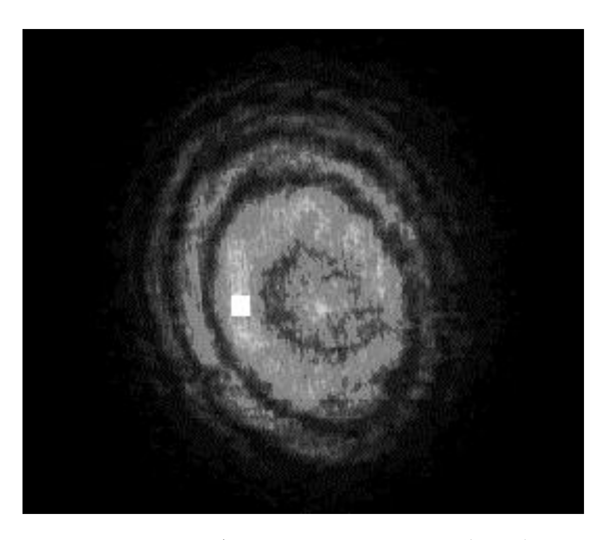


Рис. 4. Внешний вид исходной интерференционной картины (n = 1) с выбранной областью

Fig. 4. Appearance of original interference pattern (n = 1) with selected area

5. Задание и визуализация выбранной области на всех интерференционных картинах (n = 1,2…31), входящих в набор с использованием параметров исходной интерференционной картины. Внешний вид интерференционных картин (n = 1,2…9) представлен на рис. 5.

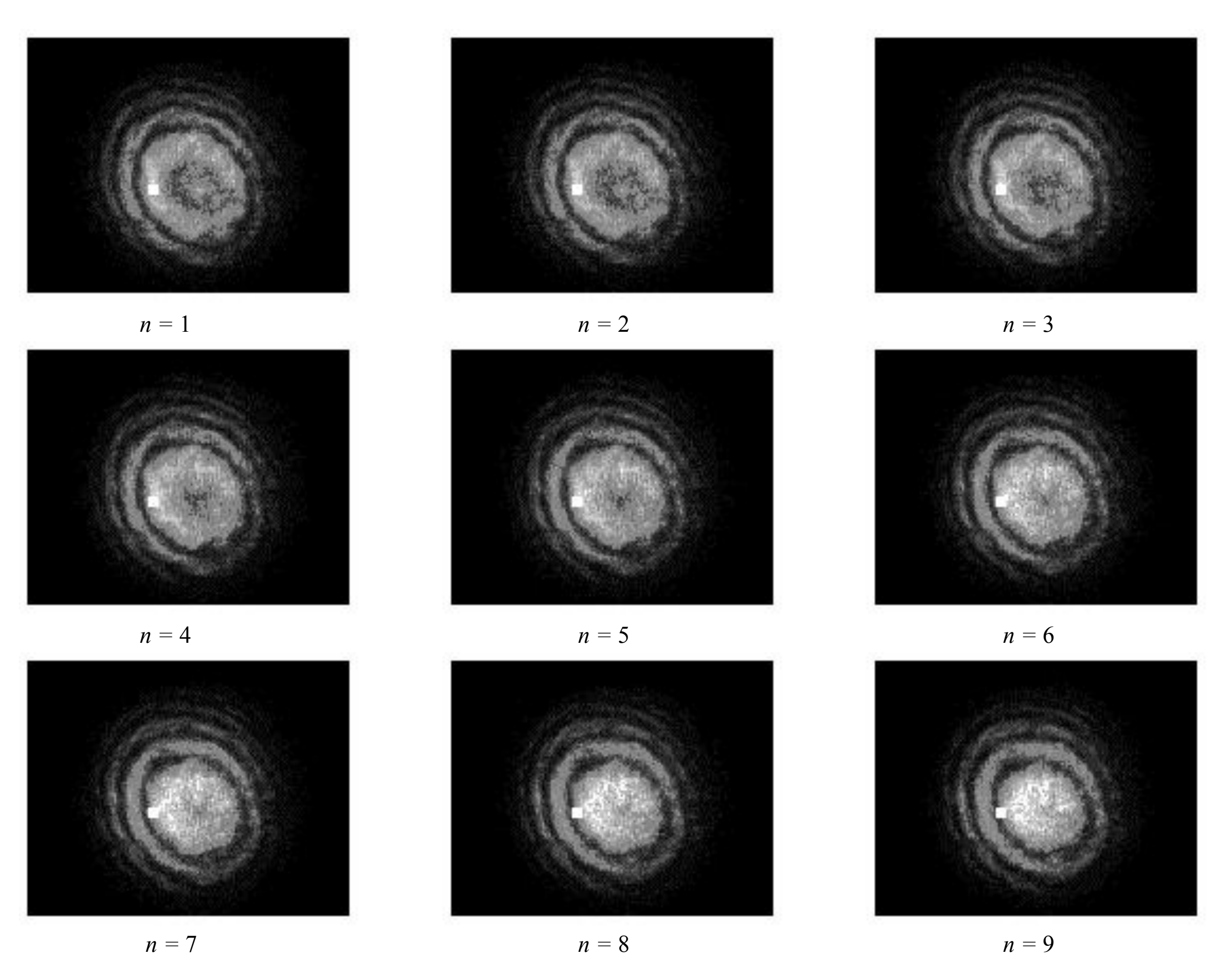


Рис. 5. Внешний вид интерференционных картин (n = 1 ,2…9) с выбранными областями

Fig. 5 Appearance of interference patterns (n = 1, 2...9) with selected areas

6. Определение суммарной интенсивности I_s по выбранной области для всех интерференционных картин, входящих в набор (n = 1,2…31), и построение зависимости изменения рассчитанной суммарной интенсивности I_s по выбранной области для каждого из моментов регистрации (рис. 6).

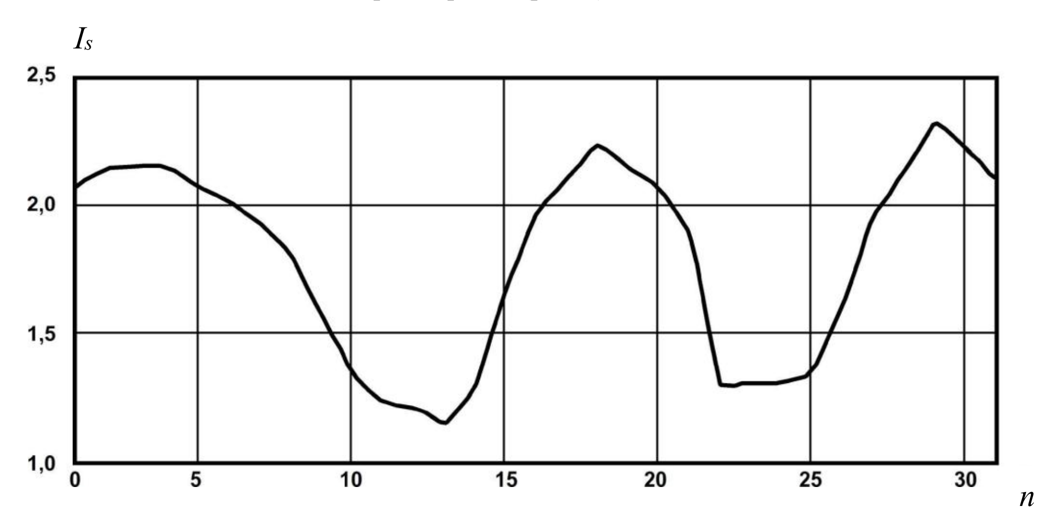


Рис. 6. Зависимость суммарной интенсивности I_s по выбранной области интерференционных картин (n = 1, 2…31)

Fig. 6. Dependence of total intensity I_s in selected area of interference patterns (n = 1, 2...31)

7. Обработка полученных результатов с использованием встроенных средств известного программного обеспечения, реализующих методы статистической обработки и прогнозирования. На рис. 7 для примера приведена зависимость суммарной интенсивности I_s по выбранной области интерференционных картин (n = 1,2…31) после проведения статистической обработки при помощи встроенных средств *MathCad* 2000 *Professional*.

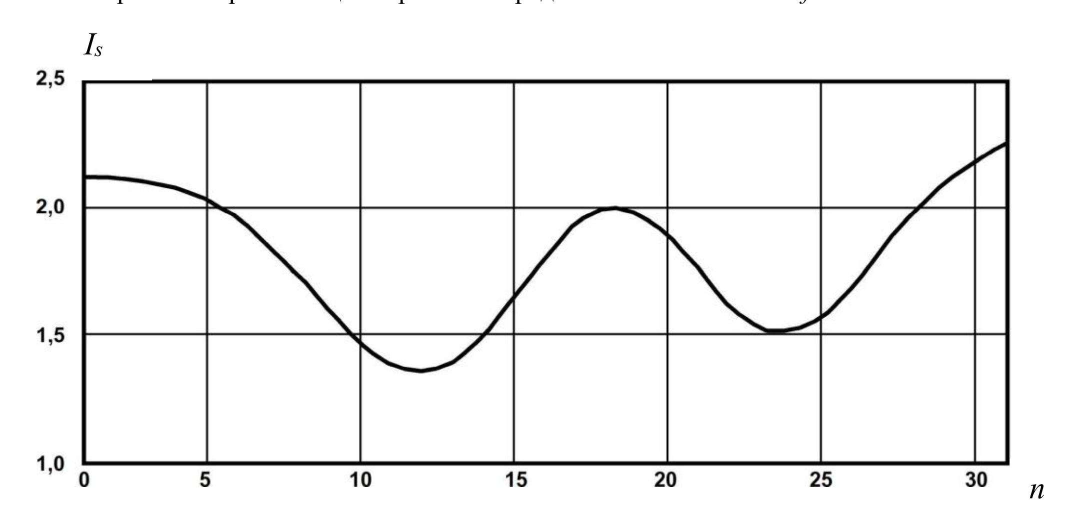


Рис. 7. Зависимость суммарной интенсивности I_s по выбранной области интерференционных картин (n = 1, 2…31) после проведения статистической обработки

Fig. 7. Dependence of total intensity I_s in selected area of interference patterns (n = 1, 2...31) after statistical processing

В настоящее время разработанный комплекс ПО включает программы для обработки результатов измерений интенсивностей, полученных:

— при помощи двух фотоприемных устройств, установленных в прилегающих друг к другу кольцах интерференционной картины (рис. 8);

— при регистрации интенсивности с выделенной области интерференционной картины, отличающейся максимальной контрастностью, в соответствии с техническим решением [15] (рис. 9);

— для вертикальных и горизонтальных выделенных областей (рис. 10);

— для корректировки результатов измерений на основе анализа суммарной интенсивности оптического поля интерференционной картины в соответствии с техническим решением [16].

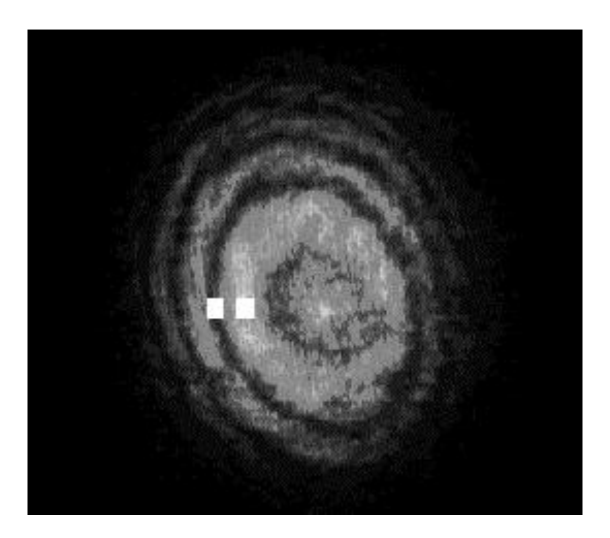


Рис. 8. Внешний вид исходной интерференционной картины (n = 1) с выбранными областями для варианта регистрации при помощи двух фотоприемных устройств

Fig. 8. Appearance of original interference pattern (n = 1) with selected areas for register option by means of two photodetectors

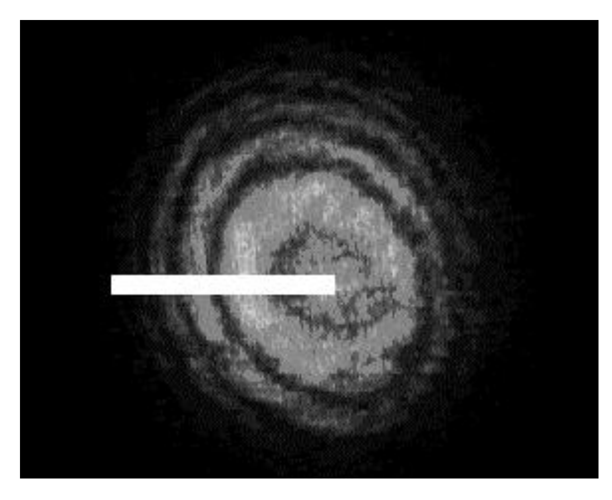


Рис. 9. Внешний вид исходной интерференционной картины (n = 1) с выбранной областью для варианта регистрации интенсивности с выделенной области

Fig. 9. Appearance of original interference pattern (n = 1) with selected area for intensity register option from selected area

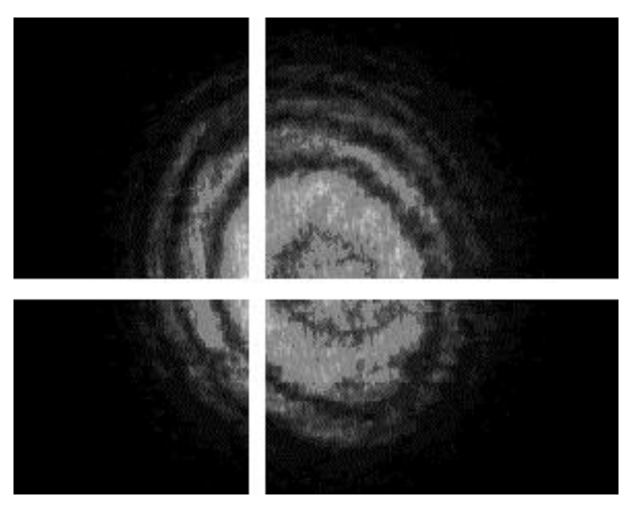


Рис. 10. Внешний вид исходной интерференционной картины (n = 1) с выбранной областью для варианта регистрации интенсивностей с вертикальных и горизонтальных выделенных областей

Fig. 10. Appearance of original interference pattern (n = 1) with selected area for option of registration of intensities from vertical and horizontal selected areas

Описанные выше программы, входящие в комплекс ПО, защищены свидетельствами Российской Федерации о государственной регистрации программ для ЭВМ [17–21], апробированы при обработке результатов экспериментальных исследований функциональных характеристик перспективных оптических средств измерений.

Работы над описанным комплексом продолжаются. Очевидно, в дальнейшем предложенные алгоритм и ПО будут развиваться по следующим направлениям:
— создание типовых унифицированных алгоритмов для моделирования различных вариантов процессов измерений и обработки результатов измерений малых пространственных перемещений поверхностей объектов контроля;
— автоматизация процесса обработки.

Заключение. Новое ПО обеспечивает обработку результатов измерений интенсивностей оптических полей интерференционных картин, создаваемых оптическими средствами измерений малых линейных и угловых перемещений поверхностей объектов контроля. Решение основано на лазерном двухходовом интерферометре с совмещенными ветвями.

С помощью данного программного комплекса процессы измерений малых линейных и угловых перемещений поверхностей объектов могут быть адекватно смоделированы для обоснования новых методов обработки интенсивностей оптических полей интерференционных картин, создаваемых оптическими средствами измерений, основанными на лазерных интерферометрах различных типов.

Предлагаемое ПО защищено свидетельствами Российской Федерации о государственной регистрации программ для ЭВМ и позволяет повысить качество результатов измерений при исследовании дефектообразования в новых материалах, а также при акустической неразрушающей диагностике состояния конструкционных материалов силовых элементов изделий на всех этапах их жизненного цикла.

Описанные в статье ПО и технические решения были представлены на международных научно-технических конференциях в 2016–2017 гг., на международных инновационных салонах «Inventions Geneva — 2017» и «Euroinvent-2017», где получили высокие оценки специалистов и были награждены золотыми медалями.

Библиографический список

1. Матвеев, А. Н. Оптика / А. Н. Матвеев. — Москва : Высшая школа, 1985. — 351 с.

2. Батраков, А. С. Лазерные измерительные системы / А. С. Батраков, М. М. Бутусов, Г. П. Гречка. — Москва : Радио и связь, 1981. — 456 с.

3. Мирошниченко, И. П. Результаты экспериментальных исследований интерференционного измерителя малых перемещений / И. П. Мирошниченко, А. Г. Серкин // Измерительная техника. — 2006. — № 5. — С. 22–25.

4. Мирошниченко, И. П. Особенности использования интерференционных измерителей малых перемещений при решении задач диагностики технического состояния конструкций / И. П. Мирошниченко, А. Г. Серкин // Дефектоскопия. — 2007. — № 4. — С. 31–38.

5. Мирошниченко, И. П. Унифицированный метод измерения малых линейных и угловых перемещений поверхностей объектов контроля / И. П. Мирошниченко, А. Г. Серкин // Дефектоскопия. — 2008. — № 5. — С. 23–27.

6. Мирошниченко, И. П. Численное исследование метода измерений малых линейных и угловых перемещений лазерными интерферометрами / И. П. Мирошниченко, А. Г. Серкин, В. П. Сизов // Измерительная техника. — 2007. — № 1. — С. 9–13.

7. Мирошниченко, И. П. Использование точечного источника излучения для расширения функциональных возможностей измерителя перемещений / И. П. Мирошниченко, А. Г. Серкин, В. П. Сизов // Оптический журнал. — 2008. — Т. 75, № 7. — С. 41–47.

8. Novel Test Means and Techniques Based on Optical Interferometry and Acoustic Emission to Study Displacements of Object Surfaces and Damage of High-Temperature Superconductive Tapes and Related Composites / I. P. Miroshnichenko [et al.] // Piezoelectrics and Related Materials: Investigations and Applications. — New York : Nova Science Publishers, 2012. — P. 239–282.

9. Novel Optical Means for Measurement of Displacements of Surfaces of the Control Objects at Diagnostics of Materials and Goods / I. P. Miroshnichenko [et al.] // Physics and Mechanics of New Materials and their Applications. — New York : Nova Science Publishers, 2013. — P. 145–154.

10. Mathematical Models, Program Software, Technical and Technological Solutions for Measurement of Displacements of the Control Object Surfaces by Laser Interferometer / I. P. Miroshnichenko [et al.] // Advanced Materials Manufacturing, Physics, Mechanics and Applications. Springer Proceedings in Physics. — Heidelberg ; New York ; Dordrecht ; London : Springer Cham, 2016. — Vol. 175. — P. 341–356.

11. Miroshnichenko, I. P. Scientific Ground of a New Optical Device for Contactless Measurement of the Small Spatial Displacements of Control Object Surfaces / I. P. Miroshnichenko, I. A. Parinov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2017. — Vol. 209. — 012054. — P. 1–8.

12. Novel Optical Interference Means to Measure Small Linear and Angular Displacements of Control Object Surfaces / I. P. Miroshnichenko [et al.] // Advanced Materials — Techniques, Physics, Mechanics and Applications. Springer Proceedings in Physics. — Heidelberg ; New York ; Dordrecht ; London : Springer Cham, 2017. — Vol. 193. — P. 591–605.

13. Экспериментальная установка для исследования процессов дефектообразования в ленточных высокотемпературных сверхпроводниках / И. П. Мирошниченко [и др.] // Металлург. — 2006. — № 7. — С. 77–78.

14. Мирошниченко, И. П. Усовершенствованная экспериментальная установка для исследования процессов дефектообразования в образцах конструкционных материалов / И. П. Мирошниченко, А. Г. Серкин // Металлург. — 2010. — № 3. — С. 68–69.

15. Оптическое устройство для измерения перемещений : патент 2373492 Рос. Федерация : МПК G 01 В 11/00, G 01 В 21/00. / И. П. Мирошниченко [и др.]. — № 2007144257/28 ; заявл. 28.11.07 ; опубл. 20.11.09, Бюл. № 32. — 7 с.

16. Способ регистрации перемещений оптическими датчиками : патент 2343403 Рос. Федерация : МПК G 01 В 11/00 / И. П. Мирошниченко [и др.]. — № 2007110769/28 ; заявл. 26.03.07 ; опубл. 10.01.09, Бюл. № 1. — 5 с.

17. Программа для визуализации и обработки распределений интенсивности оптического поля интерференционной картины, создаваемой лазерным интерферометром : св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ 2017614710 Рос. Федерация / И. П. Мирошниченко. — № 2017611671, заявл. 03.03.17 ; зарег. 26.04.17 ; опубл. 20.05.17, Бюл. № 5. — 10 с.

18. Программа для визуализации и обработки зависимостей интенсивности оптического поля в выделенной области интерференционной картины : св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ 2017614861 Рос. Федерация / И. П. Мирошниченко. — № 2017611728 ; заявл. 03.03.2017 ; зарег. 02.05.17 ; опубл. 20.05.17, Бюл. № 5. — 10 с.

19. Программа для визуализации и статистической обработки распределений интенсивности оптического поля в выделенных областях интерференционной картины : св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ 2017614715 Рос. Федерация / И. П. Мирошниченко. — № 2017611722 ; заявл. 03.03.17 ; зарег. 02.05.17 ; опубл. 20.05.17, Бюл. № 5. — 12 с.

20. Программа для визуализации и статистической обработки распределений интенсивности оптического поля в областях интерференционной картины, ограниченных геометрическими характеристиками фотоприемных устройств : св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ 2017614764 Рос. Федерация / И. П. Мирошниченко. — № 2017611682 ; заявл. 03.03.17 ; зарег. 26.04.17 ; опубл. 20.05.17, Бюл. № 5. — 11 с.

21. Программа для корректировки результатов измерений интенсивности оптического поля интерференционной картины : св-о о гос. регистрации программы для ЭВМ 2017614900 Рос. Федерация / И. П. Мирошниченко. — № 2017611687 ; заявл. 03.03.17 ; зарег. 27.04.17 ; опубл. 20.05.17, Бюл. № 5. — 8 с.

References

1. Matveev, A.N. Optika. [Optics.] Moscow: Vysshaya shkola, 1985, 351 p. (in Russian).

2. Batrakov, A.S., Butusov, M.M., Grechka, G.P. Lazernye izmeritel'nye sistemy. [Laser measurement systems.] Moscow: Radio i svyaz', 1981, 456 p. (in Russian).

3. Miroshnichenko, I.P., Serkin, A.G. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy interferentsionnogo izmeritelya malykh peremeshcheniy. [Results of the experimental study for the interferometric meter of minor movements.] Measurement Technique, 2006, no. 5, pp. 22–25 (in Russian).

4. Miroshnichenko, I.P., Serkin, A.G. Osobennosti ispol'zovaniya interferentsionnykh izmeriteley malykh peremeshcheniy pri reshenii zadach diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya konstruktsiy. [Using interferometers for the measurement of small displacements during solution of the problems of the state of structures.] Russian Journal of Nondestructive Testing, 2007, no. 4, pp. 31–38 (in Russian).

5. Miroshnichenko, I.P., Serkin, A.G. Unifitsirovannyy metod izmereniya malykh lineynykh i uglovykh peremeshcheniy poverkhnostey ob"ektov kontrolya. [A unified method for measuring small linear and angular displacements of the surfaces of tested objects.] Russian Journal of Nondestructive Testing, 2008, no. 5, pp. 23–27 (in Russian).

6. Miroshnichenko, I.P., Serkin, A.G., Sizov, V.P. Chislennoe issledovanie metoda izmereniy malykh lineynykh i uglovykh peremeshcheniy lazernymi interferometrami. [Numerical study of a method measuring small linear and angular displacements by laser interferometers.] Measurement Technique, 2007, no. 1, pp. 9–13 (in Russian).

7. Miroshnichenko, I.P., Serkin, A.G., Sizov, V.P. Ispol'zovanie tochechnogo istochnika izlucheniya dlya rasshireniya funktsional'nykh vozmozhnostey izmeritelya peremeshcheniy. [Using a point radiation source to extend the functional possibilities of a device for measuring displacements.] Journal of Optical Technology, 2008, vol. 75, no. 7, pp. 41–47 (in Russian).

8. Miroshnichenko, I.P., et al. Novel Test Means and Techniques Based on Optical Interferometry and Acoustic Emission to Study Displacements of Object Surfaces and Damage of High-Temperature Superconductive Tapes and Related Composites. Piezoelectrics and Related Materials: Investigations and Applications. New York: Nova Science Publishers, 2012, pp. 239–282.

9. Miroshnichenko, I.P., et al. Novel Optical Means for Measurement of Displacements of Surfaces of the Control Objects at Diagnostics of Materials and Goods. Physics and Mechanics of New Materials and their Applications. New York: Nova Science Publishers, 2013, pp. 145–154.

10. Miroshnichenko, I.P., et al. Mathematical Models, Program Software, Technical and Technological Solutions for Measurement of Displacements of the Control Object Surfaces by Laser Interferometer. Advanced Materials Manufacturing,

Physics, Mechanics and Applications. Springer Proceedings in Physics. Heidelberg; New York; Dordrecht; London: Springer Cham, 2016, vol. 175, pp. 341–356.

11. Miroshnichenko, I.P., Parinov, I.A. Scientific Ground of a New Optical Device for Contactless Measurement of the Small Spatial Displacements of Control Object Surfaces. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, vol. 209 — 012054, pp. 1–8.

12. Miroshnichenko, I.P., et al. Novel Optical Interference Means to Measure Small Linear and Angular Displacements of Control Object Surfaces. Advanced Materials — Techniques, Physics, Mechanics and Applications. Springer Proceedings in Physics. Heidelberg; New York; Dordrecht; London: Springer Cham, 2017vol. 193, pp. 591–605.

13. Miroshnichenko, I.P., et al. Eksperimental'naya ustanovka dlya issledovaniya protsessov defektoobrazovaniya v lentochnykh vysokotemperaturnykh sverkh-provodnikakh. [Experimental plant for research of defect formation in band high temperature superconductors.] Metallurgist*,* 2006, no. 7, pp. 77–78 (in Russian).

14. Miroshnichenko, I.P., Serkin, A.G. Usovershenstvovannaya eksperimental'naya ustanovka dlya issledovaniya protsessov defektoobrazovaniya v obraztsakh konstruktsionnykh materialov. [Improved experimental plant for investigation of defect formation processes in samples of constructional materials.] Metallurgist, 2010, no. 3, pp. 68–69 (in Russian).

15. Miroshnichenko, I.P., et al. Opticheskoe ustroystvo dlya izmereniya peremeshcheniy: patent 2373492 Ros. Federatsiya: MPK G 01 B 11/00, G 01 B 21/00. [Optical device for measuring displacements.] Patent RF, no. 2373492, 2009 (in Russian).

16. Miroshnichenko, I.P., et al. Sposob registratsii peremeshcheniy opticheskimi datchikami: patent 2343403 Ros. Federatsiya: MPK G 01 B 11/00. [The technique of detecting displacements by optical sensors.] Patent RF, no. 2343403, 2009 (in Russian).

17. Miroshnichenko, I.P. Programma dlya vizualizatsii i obrabotki raspredeleniy intensivnosti opticheskogo polya interferentsionnoy kartiny, sozdavaemoy lazernym interferometrom: sv-vo o gos. registratsii programmy dlya EVM 2017614710 Ros. Federatsiya. [Program for visualizing and processing the intensity of the optical field of interference pattern produced by laser interferometer.] RF Certificate of software registration, no. 2017614710, 2017 (in Russian).

18. Miroshnichenko, I.P. Programma dlya vizualizatsii i obrabotki zavisimostey intensivnosti opticheskogo polya v vydelennoy oblasti interferentsionnoy kartiny: sv-vo o gos. registratsii programmy dlya EVM 2017614861 Ros. Federatsiya. [Program for visualization and processing of the optical field intensity dependencies in the selected area of the interference pattern.] RF Certificate of software registration, no. 2017614861, 2017 (in Russian).

19. Miroshnichenko, I.P. Programma dlya vizualizatsii i statisticheskoy obrabotki raspredeleniy intensivnosti opticheskogo polya v vydelennykh oblastyakh interferentsionnoy kartiny: sv-vo o gos. registratsii programmy dlya EVM 2017614715 Ros. Federatsiya. [Program for visualization and statistical processing of the optical field intensity distributions in the selected areas of the interference pattern.] RF Certificate of software registration, no. 2017614715, 2017 (in Russian).

20. Miroshnichenko, I.P. Programma dlya vizualizatsii i statisticheskoy obrabotki raspredeleniy intensivnosti opticheskogo polya v oblastyakh in-terferentsionnoy kartiny, ogranichennykh geometricheskimi kharakteristikami fotopriemnykh ustroystv: sv-vo o gos. registratsii programmy dlya EVM 2017614764 Ros. Federatsiya. [Program for visualization and statistical processing of optical field intensity distributions in the areas of interference pattern limited by the geometric characteristics of photodetectors.] RF Certificate of software registration, no. 2017614764, 2017 (in Russian).

21. Miroshnichenko, I.P. Programma dlya korrektirovki rezul'tatov izmereniy intensivnosti opticheskogo polya interferentsionnoy kartiny: sv-o o gos. registratsii programmy dlya EVM 2017614900 Ros. Federatsiya. [Program for correcting the results of measuring intensity of the optical field of the interference pattern.] RF Certificate of software registration, no. 2017614900, 2017 (in Russian).

Поступила в редакцию 25.09.2017
Сдана в редакцию 25.09.2017
Запланирована в номер 30.10.2017

Received 25.09.2017
Submitted 25.09.2017
Scheduled in the issue 30.10.2017

Об авторе:

Мирошниченко Игорь Павлович,
заведующий кафедрой «Основы конструирования машин» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент,
ORCID: http://orcid.org/0000–0001–9450–2500
ipmir@rambler.ru

Author

Miroshnichenko, Igor P.,
head of the Machine Design Principles Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), Cand.Sci. (Eng.), associate professor,
ORCID: http://orcid.org/0000–0001–9450–2500
ipmir@rambler.ru